

## MRI device with actively screened gradient coil - has screen coils approximating eddy current distribution on imaginary cylindrical conductor

Publication number: DE4139420

Publication date: 1992-06-04

Inventor: KONDO MASAFUMI (JP)

Applicant: TOSHIBA KAWASAKI KK (JP)

Classification:

- international: **G01R33/385; G01R33/421; G01R33/28; G01R33/38;**  
(IPC1-7): G01N24/08; G01R33/38; G01R33/54

- european: G01R33/385; G01R33/421

Application number: DE19914139420 19911129

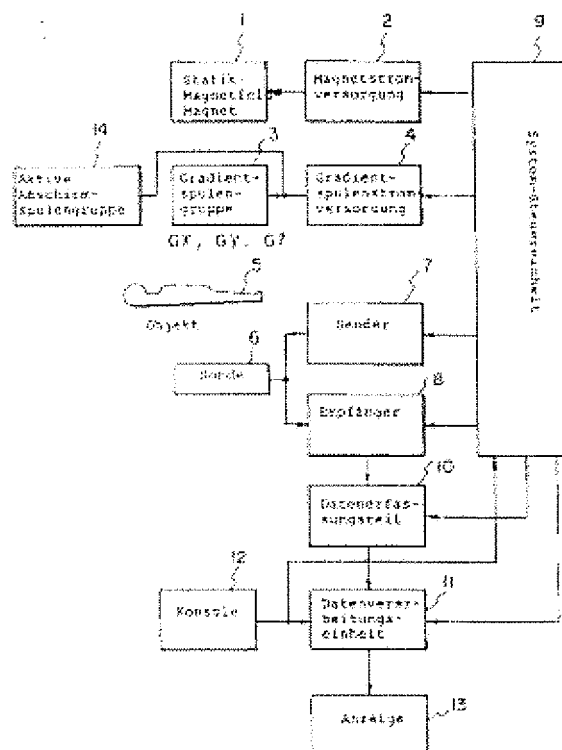
Priority number(s): JP19900340374 19901130

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE4139420

A magnetic resonance imaging device contains static, high frequency and gradient magnetic field generation units, a signal detector for magnetic resonance signals from the object under investigation, a magnetic field screen, a current supply for parallel wires of the gradient generator and screen, a controller for the various units and signal processing units. The gradient magnetic field generation unit and the magnetic screen unit each contains coils made up of parallel wires. The screen coils are arranged and shaped to approximate to the distribution of eddy currents on an imaginary cylindrical conductor when in the position of the screen.

USE/ADVANTAGE - Enables ultra-high speed imaging to be achieved despite use of actively screened gradient coil.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

①⑫ **Offenlegungsschrift**  
①⑩ **DE 41 39 420 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 R 33/38**  
G 01 R 33/54  
G 01 N 24/08  
// A61B 5/055

②① Aktenzeichen: P 41 39 420.8  
②② Anmeldetag: 29. 11. 91  
②③ Offenlegungstag: 4. 6. 92

**DE 41 39 420 A 1**

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
30.11.90 JP P 2-340374

⑦① Anmelder:  
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP

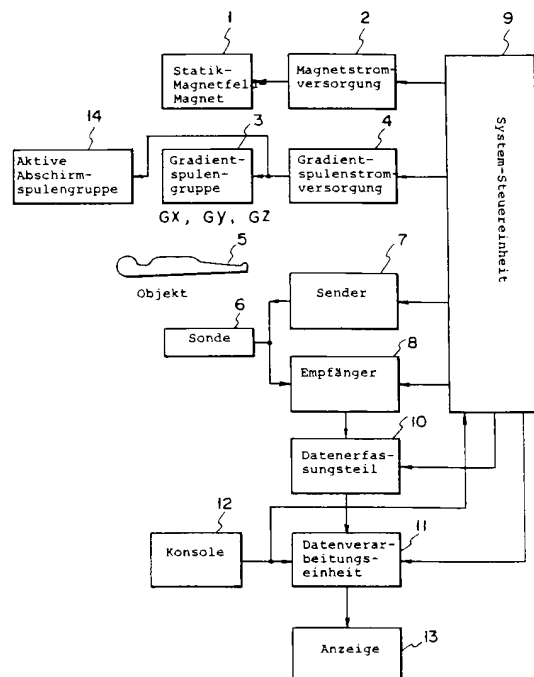
⑦④ Vertreter:  
Feiler, L., Dr.rer.nat.; Hänzle, W., Dipl.-Ing.;  
Kottmann, D., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦② Erfinder:  
Kondo, Masafumi, Ootawara, Tochigi, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Magnetresonanz-Abbildungsgerät

⑤⑦ Bei einem Magnetresonanz-Abbildungsgerät sind eine Gradientenspule (3) und/oder eine aktive Gradientenspule (3, 14), die eine Gradientenspule bzw. eine aktiv abschirmende Spule (14) bilden, aus parallelen Leitern geformt. Die parallelen Leiter sind in Positionen und mit einer Form ausgebildet oder angeordnet, welche einer Verteilung von Wirbelströmen auf einem zylindrischen Leiter angenähert sind, wenn dieser imaginär in der Position der aktiv abschirmenden Spule (14) angeordnet ist.



**DE 41 39 420 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Magnetresonanz-Abbildungsgerät, bei dem ein in ein statisches Magnetfeld eingebrachtes Untersuchungs-Objekt einem Hochfrequenz-Magnetfeld und Gradientenmagnetfeldern, deren Stärken in Richtungen orthogonal zum statischen Magnetfeld entsprechend einer vorbestimmten Impulssequenz variieren, ausgesetzt und die magnetische Resonanz oder Magnetresonanz vom Objekt zur Abbildung eines Körperbereichs desselben erfaßt werden, insbesondere ein Magnetresonanz-Abbildungsgerät, das mit Magnetfeldabschirmspulen zur Verhinderung eines Austritts der Magnetfelder aus Gradientenmagnetfeldspulen zur Außenseite ausgestattet ist.

Die Magnetresonanz-Abbildungsmethode nutzt bekanntlich eine Erscheinung aus, bei welcher eine Gruppe von Atomkernen mit Eigenmagnetmomenten (intrinsic magnetic moments) auf oder mit spezifischen Frequenzen rotieren, wenn sie einem statischen Magnetfeld ausgesetzt sind, d. h. die Gruppe von Atomkernen absorbiert Hochfrequenz-Magnetfeldenergie bei den spezifischen (Resonanz-)Frequenzen. Die Magnetresonanz-Abbildungsmethode ermöglicht eine Sichtbarmachung von chemischen und physikalischen Informationen bezüglich einer Substanz.

Bei einem die Magnetresonanz-Abbildungsmethode anwendenden Gerät (Magnetresonanz-Abbildungsgerät) nimmt im allgemeinen im Vergleich zu anderen medizinischen Diagnose-Abbildungsgeräten, wie Ultraschall-Diagnosegeräte und Röntgen-CT-Abtaster, die Gewinnung von Daten eine lange Zeit in Anspruch. Aus diesem Grund haben Atmung und physiologische Bewegung eines Untersuchungs-Objekts während einer langen Datenerfassungszeit Einflüsse auf die erzeugten Magnetresonanzbilder oder -abbildungen. Ein typisches Beispiel für solche Einflüsse oder Effekte ist ein in einem Bild erzeugtes Artefakt. Die Entstehung eines Artefakts auf oder in einem Bild deutet darauf hin, daß die Abbildung des Herzens und der Blutgefäße mit Schwierigkeiten verbunden ist. Außerdem bedeutet eine lange Abbildungszeit (Aufnahmezeit) eine große Belastung für ein Untersuchungs-Objekt.

Magnetresonanz-Abbildungsmethoden, welche eine Hochgeschwindigkeits-Rekonstruktion von Bildern erlauben, sind von P. Mansfield und J.M.S. Hutchison u. a. vorgeschlagen worden. Die Methode nach P. Mansfield ist als Echo-Planner-Abbildungsmethode bekannt. Die Methode nach J.M.S. Hutchison u. a. ist als Superhochgeschwindigkeit-Fouriermethode bekannt. Fig. 1 ist ein Zeitsteuerdiagramm einer auf der Superhochgeschwindigkeit-Fouriermethode (auch als Mehrfachecho-Fouriermethode bezeichnet) beruhenden Bilddatenerfassungs-Impulssequenz oder -folge. Dabei werden ein selektiver 90°-Anregungshochfrequenzimpuls (RF) und ein Scheibenwähl-Gradientenmagnetfeld  $G_s$  gleichzeitig angelegt, um damit selektiv Magnetisierungen in einer Schnitt- oder Scheibenebene eines Untersuchungs-Objekts anzuregen. Anschließend wird ein 180°-Impuls angelegt. Danach wird ein Auslesegradientenmagnetfeld  $G_r$  in der Richtung parallel zur Scheibenebene angelegt, während es mit hoher Geschwindigkeit in seiner Richtung umgekehrt wird. Gleichzeitig wird ein pulsierendes Codiergradientenmagnetfeld  $G_e$ , das richtungsmäßig orthogonal zum Scheibenwähl-Gradientenmagnetfeld  $G_s$  und zum Auslesegradientenmagnetfeld  $G_r$  liegt, jedesmal dann angelegt, wenn das Auslesegradientenmagnetfeld  $G_r$  in seiner Richtung umgekehrt oder reversiert wird.

Bei der Superhochgeschwindigkeits-Fouriermethode werden die Magnetisierungen in der Scheibenebene beim jedesmaligen Umschalten des Auslesegradientenmagnetfelds  $G_r$  phasenumgekehrt (rephased). Zu den Zeitpunkten, zu denen die Magnetisierungen phasenumgekehrt werden, kann eine große Zahl von Echosignalreihen beobachtet werden. Eine zum Rekonstruieren eines Bilds erforderliche Datengruppe kann innerhalb der Transverserelaxationszeit  $T_2$  aus den Echosignalreihen erfaßt werden. Diese Reihe von Operationen ermöglicht eine Hochgeschwindigkeitsabbildung (oder -aufnahme).

Zum Realisieren dieser Hochgeschwindigkeitsabbildung ist es nötig, ein starkes Auslesegradientenmagnetfeld zu erzeugen und dieses mit hoher Geschwindigkeit umzuschalten (switch).

Als Beispiel eines Verfahrens zum Erzeugen eines solchen starken Auslesegradientenmagnetfelds ist eine Methode bekannt, bei der die einzelnen Spulen zum Erzeugen der Gradientenmagnetfelder in x-, y- und z-Richtungen mit mehreren Drahtwindungen ausgebildet sind.

Bei der obigen Methode besitzt die Induktivität von  $N$  Windungen eine Größe von  $N^2 \times L$ , wobei  $L$  der Induktivität pro Drahtwindung einer Gradientenspule entspricht. Eine derart große Induktivität führt zu einer erheblichen Verlängerung der Umschaltzeit. Dies wirkt bezüglich der Erzielung einer Hochgeschwindigkeits-Datenerfassung Schwierigkeiten auf.

Als Möglichkeit zur Lösung der mit der Hochgeschwindigkeits-Datenerfassung aufgrund hoher Induktivität der Spule zusammenhängenden Schwierigkeiten ist (von USUI) in der JP-OS 1-1 10 354 eine Methode vorgeschlagen worden, bei der eine Gradientenfelderzeugungsspule aus parallelen Leitern (Multifilar- oder Mehradersystem) geformt ist. Dabei umfassen die parallelen Leiter mehr als einen parallel angeordneten Leiter.

Fig. 2 veranschaulicht eine Konfiguration von Leitern beim Multifilar- oder Mehradersystem. Fig. 2 zeigt ein Beispiel einer Gradientenspule zur Erzeugung oder Bildung eines in Richtungen (x- und y-Richtung) orthogonal zur z-Achsenrichtung orientierten Gradientenmagnetfelds, z. B. eines Phasencodiergradientenmagnetfelds  $G_e$  und eines Auslesegradientenmagnetfelds  $G_r$ . Es sei dabei angenommen, daß eine aus  $N$  parallelen Leitern gebildete Gradientenspule durch  $N$  Stromversorgungen angesteuert wird. In diesem Fall beträgt die effektive Induktivität der Gradientenspule etwa  $N \times L$ . Die Umschaltzeit entspricht etwa  $1/N$  derjenigen bei der obengenannten Methode, nach der eine Gradientenspule mit einem Leiter in mehreren Windungen geformt ist. Dies ermöglicht ein Umschalten (switching) mit hoher Geschwindigkeit. Das Mehradersystem ist jedoch nur auf herkömmliche Maxwell-Typ- und sattelförmige Gradientenfelderzeugungsspulen anwendbar.

Andererseits induziert das Hochgeschwindigkeitsumschalten eines starken Gradientenmagnetfelds Wirbelströme in einem außerhalb einer Gradientenspule angeordneten zylindrischen Wärmeabschirmleiter. Die zeitabhängige Gradientenfeldwellenform wird durch Magnetfelder verzerrt, die während der Datenerfassung durch die

Wirbelströme induziert werden, was zu einer ernstlichen Verschlechterung der Bilder oder Abbildungen, z. B. durch Bildunschärfe, führt.

Für die Lösung dieses Problems ist eine Methode vorgeschlagen worden, nach welcher ein einer Gradientenfeld-erzeugungsspule zuzuspeisender Strom mit einer Komponente (Auslöschkomponente) moduliert wird, welche die inverse oder entgegengesetzte Komponente zu einer zeitabhängigen (variierenden) Komponente der Wirbelströme ist. Mit dieser Methode wird das Zeitverhalten (time response) der Wirbelströme kompensiert.

Auch wenn mit dieser Methode die Zeitverhalten-Kompensation der Wirbelströme perfekt erzielt wird, wird die Verschlechterung oder Beeinträchtigung der Bildgüte nicht vollkommen beseitigt, und zwar aufgrund des Vorhandenseins einer unterschiedlichen räumlichen Nichtlinearität zwischen der Verteilung der durch Wirbelströme, die im zylindrischen Wärmeabschirmleiter fließen, erzeugten Magnetfelder und der Verteilung von Gradientenmagnetfeldern, die durch den die Gradientenspulen durchfließenden Strom erzeugt werden.

Zur Ausschaltung der Einflüsse des Zeitverhaltens des Wirbelstromfelds und der räumlichen Nichtlinearität sind von P. Mansfield und Peter B. Roemer Methoden vorgeschlagen oder entwickelt worden, nach denen an der Außenseite einer Gradientenspule eine Abschirmspule installiert wird. Eine Kombination aus einer Spulenabschirmung mit einer Gradientenspule, die tatsächlich ein Gradientenmagnetfeld bildet oder erzeugt, ist als aktiv abgeschirmte Gradientenspule (ASGC) bekannt.

Fig. 3 veranschaulicht eine von Peter B. Roemer vorgeschlagene Leiterkonfiguration einer ASGC, die für eine Gradientenspule in lotrechter Richtung eingebaut ist. Diese Technik ist in der US-PS 47 37 716 dargestellt und beschrieben. Die einzelnen Leitermuster spiegeln die kontinuierliche Verteilung von Wirbelströmen wider, die in einem (imaginären) zylindrischen Abschirmleiter erzeugt werden würden, welcher angenommenerweise in der durch den Außendurchmesser der ASGC definierten Position angeordnet ist.

Im allgemeinen wird die Wirbelstromverteilung durch ein spezielles Funktionssystem, wie eine modifizierte Besselfunktion, repräsentiert. Eine gewünschte ASGC (aktiv abgeschirmte Gradientenspule) kann durch Ersatz einer solchen Wirbelstromverteilung durch diskrete (getrennte) Leiter unter Zugrundelegung entsprechender Fertigungstechniken, d. h. numerisch gesteuerte (NC) Fertigung, realisiert werden.

Mit einer solchen herkömmlichen ASGC, die für herkömmliche Abbildungstechniken geeignet ist, kann jedoch nicht die Induktivität der Gradientenspule verringert und die Umschaltzeit einer mit der Gradientenspule verbundenen Stromversorgung verkürzt werden, um ein für Ultrahochgeschwindigkeit-Abbildung benutztes starkes Auslesegradientfeld umzuschalten.

Wie oben beschrieben, liegt das Problem bei der herkömmlichen aktiv abgeschirmten Gradientenspule darin, daß sie für Ultrahochgeschwindigkeit-Abbildung ungeeignet ist.

Aufgabe der Erfindung ist damit die Schaffung eines Magnetresonanz-Abbildungsgeräts, das ungeachtet der Verwendung einer aktiv abgeschirmten Gradientenspule ohne weiteres die Erzielung einer Ultrahochgeschwindigkeit-Abbildung erlaubt.

Diese Aufgabe wird durch ein Magnetresonanz-Abbildungsgerät gelöst, das umfaßt:  
eine statische oder Statikmagnetfelderzeugungseinrichtung zum Erzeugen (forming) eines sehr starken statischen Magnetfelds,

eine Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinrichtung zum Erzeugen eines Hochfrequenzmagnetfelds zur Beaufschlagung eines im statischen Magnetfeld positionierten Untersuchungs-Objekt,

eine Gradientenmagnetfelderzeugungseinrichtung mit aus parallelen Leitern zusammengesetzten Spulen zum Erzeugen von Gradientenmagnetfeldern zur Beaufschlagung des im statischen Magnetfeld positionierten Untersuchungs-Objekts wobei die Stärke der Gradientenmagnetfelder in Richtungen parallel und orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert,

eine Signaldetektoreinrichtung zum Detektieren bzw. Erfassen von Magnetresonanzsignalen vom Untersuchungs-Objekt,

eine Magnetfeldabschirmeinrichtung mit jeweils aus parallelen Leitern zusammengesetzten Spulen zum Abschirmen von Magnetfeldern, die von der Gradientenmagnetfelderzeugungseinrichtung nach außen dringen,

eine Stromspeiseeinrichtung zum Speisen der parallelen Leiter der Gradientenmagnetfelderzeugungseinrichtung und der Magnetfeldabschirmeinrichtung mit Strömen parallel zueinander und

Steuer- und Verarbeitungseinheiten zum Steuern der Statikmagnetfelderzeugungseinrichtung, der Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinrichtung, der Gradientenmagnetfelderzeugungseinrichtung, der Signaldetektoreinrichtung, der Magnetfeldabschirmeinrichtung und der Stromspeiseeinrichtung und zum Verarbeiten der durch die Signaldetektoreinrichtung erfaßten Magnetresonanzsignale.

Gegenstand der Erfindung ist auch ein Magnetresonanz-Abbildungsgerät, umfassend:

eine statische oder Statikmagnetfelderzeugungseinrichtung zum Erzeugen (forming) eines sehr starken statischen Magnetfelds,

eine Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinrichtung zum Erzeugen eines Hochfrequenzmagnetfelds zur Beaufschlagung eines im statischen Magnetfeld positionierten Untersuchungs-Objekt,

eine Gradientenmagnetfelderzeugungseinrichtung mit aus parallelen Leitern zusammengesetzten Spulen zum Erzeugen von Gradientenmagnetfeldern zur Beaufschlagung des im statischen Magnetfeld positionierten Untersuchungs-Objekts, wobei die Stärke der Gradientenmagnetfelder in Richtungen parallel und orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert, und wobei die parallelen Leiter in Positionen und mit einer Form ausgebildet sind, welche der Verteilung eines Wirbelstroms auf einem zylindrischen Leiter angenähert sind, wenn dieser als in einer vorbestimmten Position angeordnet gedacht wird,

eine Signaldetektoreinrichtung zum Detektieren oder Erfassen von Magnetresonanzsignalen vom Untersuchungs-Objekt,

eine Stromspeiseeinrichtung zum Speisen der parallelen Leiter der Gradientenmagnetfelderzeugungseinrichtung mit Strömen parallel zueinander und

Steuer- und Verarbeitungseinheiten zum Steuern der Statikmagnetfelderzeugungseinrichtung, der Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinrichtung, der Gradientmagnetfelderzeugungseinrichtung, der Signaldetektoreinrichtung und der Stromspeiseeinrichtung und zum Verarbeiten der durch die Signaldetektoreinrichtung erfaßten Magnetresonanzsignale.

Durch Ausbildung einer Gradientspule (Gradientmagnetfelderzeugungseinrichtung) oder einer Gradientspule (Gradientmagnetfelderzeugungseinrichtung), welche eine aktive Abschirmgradientspule bildet, sowie einer aktiven Abschirmspule (Magnetfeldabschirmspule) aus parallelen Leitern kann die Induktivität beider Spulen effektiv verringert werden. Damit kann das für Ultrahochgeschwindigkeit-Abbildung wesentliche Umschaltung (switching) der starken Gradient(magnet)felder ohne Beeinflussung durch das Zeitverhalten und die räumliche nichtlineare Charakteristik eines Wirbelstrommagnetfelds durchgeführt werden.

Im folgenden sind bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen.

**Fig. 1** eine Impulssequenz oder -folge zur Erläuterung der Datenerfassung bei einer Superhochgeschwindigkeit-Fouriermethode,

**Fig. 2** eine Methode, nach der eine Gradientspule in einer Richtung orthogonal zu einer Achse mit (aus) parallelen Leitern geformt ist, und die Methode ihrer Ansteuerung,

**Fig. 3** ein Beispiel einer Leiterkonfiguration bei einer herkömmlichen aktiv abgeschirmten Gradientspule,

**Fig. 4** ein Blockschaltbild eines Magnetresonanz-Abbildungsgeräts gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

**Fig. 5** eine Schnittansicht einer Anordnungsbeziehung zwischen einem Statikmagnetfeld-Magneten, einer ASGC (aktiv abgeschirmten Gradient(magnetfeld spule) aus einer Gradientspule und einer aktiven Abschirmspule sowie einer Sonde gemäß der Erfindung,

**Fig. 6** ein Ablaufdiagramm zur Verdeutlichung eines Prozesses zur Bestimmung der Konfiguration von aktiven Abschirmgradientspulen in der Achsrichtung und in Richtungen orthogonal zur Achse bei der Erfindung,

**Fig. 7** eine schematische Darstellung einer Abwicklung der Gradientspule und der aktiven Abschirmspule, welche die ASGC bilden,

**Fig. 8** eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer aktiv abgeschirmten Multifilar- oder Mehrader-Gradientspule bei der Erfindung,

**Fig. 9** eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der aktiv abgeschirmten Multifilar- oder Mehrader-Gradientspule bei der Erfindung,

**Fig. 10** eine schematische Darstellung eines Beispiels für ein Verfahren zum Anschließen einer restlichen Einzelwindung der erfindungsgemäß verwendeten aktiv abgeschirmten Mehrader-Gradientspule,

**Fig. 11** eine Tabelle zur Verdeutlichung eines Verfahrens zum Anschließen aller Windungen der aktiv abgeschirmten Mehrader-Gradientspule, gemäß **Fig. 10**,

**Fig. 12** eine schematische Darstellung eines Beispiels für ein Verfahren zum Anschließen der restlichen beiden Windungen einer erfindungsgemäß verwendeten aktiv abgeschirmten Mehrader-Gradientspule,

**Fig. 13** eine Tabelle zur Darstellung eines Beispiels für ein Verfahren zum Anschließen aller Windungen der aktiv abgeschirmten Mehrader-Gradientspule nach **Fig. 12**,

**Fig. 14** eine schematische Darstellung eines Beispiels für ein Verfahren zum Anschließen der restlichen drei Windungen einer erfindungsgemäß verwendeten aktiv abgeschirmten Mehrader-Gradientspule,

**Fig. 15** eine Tabelle zur Darstellung eines Verfahrens zum Anschließen aller Windungen der aktiv abgeschirmten Mehrader-Gradientspule, gemäß **Fig. 14** und

**Fig. 16** eine Schnittansicht einer Anordnungsbeziehung zwischen einem Statikmagnetfeld-Magneten, einer Gradientmagnet(feld)spule und einer Sonde gemäß der Erfindung.

Die **Fig. 1** bis **3** sind eingangs bereits erläutert worden.

**Fig. 4** ist ein Blockschaltbild eines Magnetresonanz-Abbildungsgeräts gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Dabei wird ein Statikmagnetfeld-Magnet **1** durch eine Magnetstromversorgung **2** angesteuert, wodurch ein Untersuchungs-Objekt **5** mit einem in der z-Richtung gleichmäßigen oder gleichförmigen statischen Magnetfeld beaufschlagt bzw. diesem ausgesetzt wird.

Eine Gradientspulen-Gruppe **3** wird durch eine Gradientspulen-Stromversorgung **4** angesteuert, um damit das Untersuchungs-Objekt (Patientenkörper) **5** mit drei Arten von Gradientmagnetfeldern zu beaufschlagen, die in der gleichen Richtung wie das statische Magnetfeld orientiert sind und lineare Gradientmagnetfeldverteilungen in drei (zueinander) orthogonalen Richtungen aufweisen. Die drei Arten von Gradientmagnetfeldern umfassen ein erstes Gradientmagnetfeld  $G_z$ , dessen Stärke längs der (im folgenden als Achsrichtung bezeichneten) z-Richtung, d. h. in Richtung des statischen Magnetfelds variiert, sowie zweite und dritte Gradientmagnetfelder  $G_x$  bzw.  $G_y$ , deren Stärke längs der beiden orthogonalen x- und y-Richtungen, die auch zum statischen Magnetfeld orthogonal sind, variiert. Je eines der Gradientmagnetfelder  $G_x$ ,  $G_y$  und  $G_z$  wirkt bzw. dient als Scheibenwählgradientfeld  $G_s$ , Auslesegradientfeld  $G_r$  bzw. Phasencodiergradientfeld  $G_e$ . Die Gradientspulen-Gruppe ist zur Unterscheidung von einer noch zu beschreibenden aktiven Abschirmspulen-Gruppe als "Gradientspulen-Gruppe" bezeichnet. Jede die Gradientspulen-Gruppe **3** bildende Spule ist auf noch zu beschreibende Weise aus parallelen Leitern zusammengesetzt.

Eine Sonde **6** spricht auf ein Hochfrequenzsignal von einem Senderteil oder Sender **7** für die Anlegung eines Hochfrequenzmagnetfelds an das Objekt bzw. den Körper **5** an. Bei der dargestellten Ausführungsform wird die Sonde sowohl zum Übertragen bzw. Senden als auch Empfangen benutzt, so daß sie auch Magnetresonanzsignale vom Objekt bzw. Körper **5** empfängt. Wahlweise kann für Senden und Empfangen jeweils eine getrennte Sonde vorgesehen sein.

Die empfangenen Magnetresonanzsignale werden durch einen Empfangsteil bzw. Empfänger **8** erfaßt und dann zu einem Datenerfassungsteil **10** übertragen. In letzterem werden die erfaßten Magnetresonanzsignale

einer Analog-Digital-Umwandlung unterworfen. Die umgewandelten analogen Magnetresonanzsignale werden einer Datenverarbeitungseinheit 11 zugeführt.

Die Magnetstromversorgung 2, die Gradientenspulen-Stromversorgung 4, der Senderteil bzw. Sender 7, der Empfangsteil bzw. Empfänger 8 und der Datenerfassungsteil 10 werden sämtlich durch eine System-Steuereinheit 9 gesteuert. Die System-Steuereinheit 9 und die Datenverarbeitungseinheit 11 werden über eine Konsole 12 gesteuert. Die Datenverarbeitungseinheit 11 bewirkt eine Fourier-Transformierung der vom Datenerfassungsteil 10 zugesandten Magnetresonanzsignale und berechnet eine gewählte Kerndichtevertelung in dem zu untersuchenden Körper, wodurch eine Bildrekonstruktion ausgeführt wird und Bilddaten erzeugt werden. Eine Bild-Anzeige 13 gibt ein Bild bzw. eine Abbildung auf der Grundlage der Bilddaten wieder.

Die aktive Abschirmspulengruppe 14 vermag Magnetfelder (im folgenden als Streufelder bezeichnet) abzuschirmen, die von der Gradientenspulengruppe 3 nach außen dringen, d. h. zu der vom Untersuchungs-Objekt 5 abgewandten Seite. Jede Spule der aktiven Abschirmspulengruppe 14 besteht, wie beim Gradientenspulensystem 3, aus parallelen, mehradrigen (multifilar) Leitern bzw. Mehrercoderleitern. Entsprechende Spulen der Gradientenspulen- und Aktivabschirmspulengruppen sind in Reihe geschaltet. Die aktive Abschirmspulengruppe 14 wird durch die Gradientenspulen-Stromversorgung 4 angesteuert oder gespeist, die mehr als eine einzige Stromversorgung umfaßt. Die mehreren Stromversorgungen sind im folgenden als G-Stromversorgung bezeichnet. Wenn somit die Gradientenspulen-Stromversorgung 4 vier G-Stromversorgungen aufweist, werden diese als erste, zweite, dritte bzw. vierte G-Stromversorgung 4-1, 4-2, 4-3 bzw. 4-4 bezeichnet.

Im folgenden ist anhand von Fig. 5 eine Anordnungsbeziehung zwischen dem Magneten 1 zur Erzeugung des statischen Magnetfelds, der Gradientenspulengruppe 3, der aktiven Abschirmspulengruppe 14, der Sonde 6 und dem Untersuchungs-Objekt 5 erläutert. Die beiden Spulengruppen 3 und 14 sind coaxial im genannten Magneten 1 angeordnet. Die Gradientenspulengruppe 3 und die aktive Abschirmspulengruppe 14 bilden eine aktive abgeschirmte Gradientenspule. Die aktive Abschirmspulengruppe 14 ist außerhalb der Gradientenspulengruppe 3 angeordnet, während die Sonde 6 innerhalb dieser angeordnet ist. Das Untersuchungs-Objekt 5 wird in die Sonde 6 eingeführt.

Die Stromzuspeisung zur Gradientenspulengruppe 3 und zur aktiven Abschirmspulengruppe 14 kann durch die gemeinsame Gradientenspulen-Stromversorgung 4 gemäß Fig. 1 oder durch getrennte Stromversorgungen erfolgen.

Auf diese Weise sind mehradrig gewickelte Abschirmgradientenspulen (ASGC) der Gradientenspulengruppe 3 aus parallelen Leitern zusammengesetzt, und die aktive Abschirmspulengruppe 14 ist (ebenfalls) aus parallelen Leitern gebildet.

Die Konfiguration bzw. Ausgestaltung der mehradrig gewickelten ASGC wird nach dem im Ablaufdiagramm von Fig. 6 dargestellten Prozeß bestimmt.

Zunächst werden in einem Schritt 21 Spezifikationen für Ultrahochgeschwindigkeit-MRI-Bilder und die entsprechende Sequenz vorgegeben. Die Auslesegradientfeldstärke  $G_r$  kann anhand von Parametern beschrieben werden, welche die Spezifikationen wie die nachstehende Gleichung definieren. Es sei jedoch angenommen, daß die Abtastung der Magnetresonanzsignalen nur während einer Zeitspanne erfolgt, in welcher das Auslesegradientenmagnetfeld konstant (flach) ist.

$$G_r = \frac{2\pi \times N_r}{\gamma \times X_r(T_r - T_s)} \quad (1)$$

In obiger Gleichung bedeuten:  $N_r$  = Zahl der Bildmatrix in Ausleserichtung;  $X_r$  = Abbildungsbereich in Ausleserichtung;  $T_r$  = Umschaltintervall;  $T_s$  = Umschaltung des umzuschaltenden Auslesegradientfelds ( $-G_r \leftrightarrow G_r$ ) und  $\gamma$  = gyromagnetisches Verhältnis.

In einem Schritt 22 werden sodann die Spezifikationen der Gradientenspulen-Stromversorgung bestimmt. Wenn lineare (Gleichspannungs-) Stromverstärker als Gradientenspulen-Stromversorgungen eingesetzt werden, werden  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  und  $N_{amp}$  als deren Spezifikationen vorgegeben.  $I_{max}$  steht dabei für den maximalen Ausgangsstrom einer G-Stromversorgung (Verstärker);  $V_{max}$  bedeutet die maximale Ausgangsspannung der G-Stromversorgung, und  $N_{amp}$  steht für die Zahl (oder Nummer) der G-Stromversorgung (Verstärker).

Im nächsten Schritt 23 werden Grundspezifikationen für die aktiv abgeschirmte Gradientenspule bzw. ASGC aufgestellt oder vorgegeben. Diese Spezifikationen umfassen den Radius eines jeden Leiters, welcher die Gradientenspulen und die aktiven Abschirmspulen der ASGC bildet, sowie den Durchmesser der aktiven Abschirmspule und dergleichen.

Als Resultat der Schritte 21, 22, 23 werden die Gesamtzahlen  $N_{g,t}$  und  $N_{s,t}$  der Windungen der Gradientenspule und der aktiven Abschirmspule in der ASGC bestimmt.

In einem Schritt 25 wird weiterhin die Zahl  $N_d$  der ASGC-Unterteilungen, die getrennt anzusteuern sind, vorgegeben oder bestimmt. Dabei kann  $N_d$  eine Größe von 1 oder 2 im Fall der ASGC in Achsrichtung und von 1, 2 oder 4 im Fall der ASGC in einer Richtung orthogonal zur Achse annehmen. Die unterteilten Spulen sind bezüglich des Leiternusters jeweils genau gleich. Eine solche Unterteilung ermöglicht eine beträchtliche Verringerung der ASGC-Induktivität.

In einem Schritt 26 werden die Zahl der Windungen pro Kanal (einadrig) der ASGC-Gradienten- und aktiven Abschirmspulen sowie ein Leiterzuweisungssystem auf der Grundlage der Resultate der Schritte 21 bis 25 bestimmt. Für diese Bestimmung können verschiedene Methoden angewandt werden, beispielsweise eine Methode, bei welcher eine Bestimmung zur Minimierung der Änderung der Eigeninduktivität und des Widerstands jeder Ader (filar) erfolgt, sowie eine Methode zur Bestimmung zwecks Minimierung der Änderungen der effektiven Induktivität (einschließlich der Gegeninduktivität zwischen den Adern) für bzw. durch die entspre-

chende Gradientenspulen-Stromversorgung und den Widerstand jeder Ader. Diese Methoden sollen später noch näher erläutert werden.

Die Zahl  $N_{g,f}$  der Gradientenspulen-Mehradern bestimmt sich zu

$$N_{g,f} = N_{amp}/N_d \quad (2)$$

Im allgemeinen wird die Zahl  $N_{s,f}$  der Mehradern der aktiven Abschirmspule als gleich  $N_{g,f}$  angesehen. Auf diese Weise werden die Spezifikationen für die Ultraschallgeschwindigkeit-MRI-ASGC bestimmt (Schritt 27).

Im folgenden ist die Methode der Bestimmung der Windungszahl pro Kanal der ASGC-Gradient- und aktiven Abschirmspulen sowie das Leiterzuweisungssystem nach Schritt 26 näher erläutert. Gemäß Fig. 7 besteht die aktive Abschirmspule 14 (oder die Gradientenspule 3) im allgemeinen oder im wesentlichen aus zwei in Achsrichtung angeordneten sattelförmigen Spulenelementen 14A und 14B (3A und 3B). Durch die Abwicklung der aktiven Abschirmspule 14 (oder der Gradientenspule 3) in einer Ebene wird somit verdeutlicht, daß die aktive Abschirmspule 14 (oder die Gradientenspule 3) aus vier Spulenabschnitten 14A1, 14A2, 14B1 und 14B2 besteht.

Fig. 8 veranschaulicht eine der Gx-Spulen oder Gy-Spulen der aktiven Abschirmspulen 14 (oder Gradientenspulen 3) bzw. die Konfiguration der mehradrigen (multi-filar) ASGC in einer Richtung orthogonal zur Achse. Fig. 8 veranschaulicht speziell den Fall, in welchem die Zahl der Adern ( $N_{g,f}$ ,  $N_{s,f}$ ) 3 beträgt, während die Zahl der Windungen pro Ader gleich 4 ist. In Fig. 8 sind die ersten, zweiten und dritten Adern durch eine ausgezogene Linie, eine gestrichelte Linie bzw. eine strichpunktierte Linie dargestellt. Gemäß Fig. 8 ist die ASGC aus parallelen Leitern, die in Form eines Fingerabdrucks gewickelt sind, aufgebaut und sie weist die Position und Form auf, welche jeweils getrennt eine kontinuierliche Verteilung von Wirbelströmen auf einem zylindrischen Leiter wiedergeben, wenn dieser als in der Position der aktiven Abschirmspule liegend gedacht wird. In diesem Fall kann eine ASGC verwendet werden, die mindestens eine Position und Form aufweist, welche die kontinuierliche bzw. fortlaufende Verteilung von Wirbelströmen reflektiert.

Es sei angenommen, daß die Aderzahl der Gradientenspule der mehradrigen ASGC gleich  $I_{g,f}$ , die Zahl der Reihenwindungen der  $I_{g,f}$ -ten Ader gleich  $N_{g,tf}(I_{g,f})$  (diese Zahl variiert im allgemeinen von Aderzahl zu Aderzahl) und die Windungszahl in einer Ader gleich  $I_{g,tf}$  sind. Beim Beispiel gemäß Fig. 8 stehen sodann die  $I_{g,tf}$ -te Windung der  $I_{g,f}$ -ten Ader und die Windungszahl  $I_{g,t}$  des ursprünglichen Musters als nicht-mehradrige Wicklung in folgender Beziehung zueinander:

$$I_{g,t} = I_{g,f} + N_{g,f} \times (I_{g,tf} - 1) \quad (3)$$

$$I_{g,tf} = 1 \dots N_{g,tf}(I_{g,f}) \quad (4)$$

In diesem Fall können die Windungszahlen  $I_{g,t}$  und  $I_{g,tf}$  als mit der äußersten Windung als der ersten (Windung) variierend angesehen werden.

Für die Bestimmung der Zahl  $N_{g,tf}(I_{g,f})$  der Reihenwindungen der  $I_{g,f}$ -ten Ader können die folgenden ersten und zweiten Methoden ins Auge gefaßt werden.

Nach der ersten Methode erfolgt die Bestimmung gemäß folgender Gleichung:

$$N_{g,tf}(I_{g,f}) = \text{int}(N_{g,t}/N_{g,f}) \quad (5)$$

In obiger Gleichung steht  $\text{int}$  für Abstumpfung oder Begrenzung (truncation). Die Abweichung von der optimalen Zahl der Windungen  $N_{g,t}$  kann durch Feineinstellung des Abstand zwischen Adern ausgeglichen werden.

Nach der zweiten Methode erfolgt die Bestimmung wie folgt:

Die restlichen Windungen werden in ansteigender Reihe der Induktivität in jeder Ader, beginnend mit der äußersten Windung, in Reihe geschaltet. In diesem Fall hängt  $N_{g,tf}$  von  $I_{g,f}$  ab.

Bezüglich der aktiv abschirmenden Spule oder Aktivabschirmspule der Mehrader-ASGC stehen andererseits die  $I_{s,tf}$ -te Windung der  $I_{s,f}$ -ten Ader und die Windungszahl  $I_{s,t}$  des ursprünglichen Musters als nicht-mehradrige Wicklung ebenfalls in folgender Beziehung zueinander:

$$I_{s,t} = I_{s,f} + N_{s,f} \times (I_{s,tf} - 2) \quad (6)$$

$$I_{s,tf} = 1 \dots N_{s,tf}(I_{s,f}) \quad (7)$$

Die Methode zur Bestimmung von  $N_{s,tf}(I_{s,f})$  ist genau die gleiche, wie oben beschrieben.

Wie aus Fig. 8 hervorgeht, ist diese Wicklungsart einfach. Bei dieser Wicklungsart wird jedoch Induktivität und Widerstand einer Ader um so größer, je weiter die Ader vom Zentrum entfernt ist. Diese Tendenz verstärkt sich noch, wenn sich insbesondere die Zahl  $N_{g,f}$ ,  $N_{s,f}$  der Adern vergrößert.

Ein zweites Beispiel gemäß Fig. 9 ist gegenüber dem ersten Beispiel der Wicklungsart gemäß Fig. 8 dahingehend verbessert, daß die Änderungen von Induktivität und Widerstand jeder Ader erheblich verringert sind.

Beim zweiten Beispiel stehen die  $I_{g,tf}$ -te Windung der  $I_{g,f}$ -ten Ader und die  $I_{g,t}$ -te Windung des ursprünglichen Musters in folgender Beziehung zueinander:

$$I_{g,t} = I_{g,f} + N_{g,f} \times (I_{g,tf} - 1) \quad (8)$$

$$I_{g,tf} = 1, 3, 5, \dots (\text{ungerade Zahl})$$

$$I_{g,t} = (2N_{g,f} - I_{g,f} + 1) + N_{g,f}(I_{g,tf} - 2) \quad (2)$$

$$I_{g,tf} = 2, 4, 6, \dots (\text{gerade Zahl})$$

$$I_{g,tf} = 1 \dots N_{g,tf}(I_f) \quad (10)$$

5

Die Methode der Bestimmung von  $N_{g,tf}(I_{g,f})$  ist genau die gleiche wie diejenige nach **Fig. 8**. Die Induktivitätsänderungen jeder Ader können durch Anwendung einer solchen Wicklungsart (way of winding) beträchtlich verringert werden.

Die **Fig. 8** und **9** veranschaulichen die ersten bzw. Wicklungsarten der mehradrigen aktiv abgeschirmten Gradientenspule. Im folgenden ist eine Methode zur Bestimmung der Wicklungsart einer ASGC mittels eines verallgemeinerteren mehradrigen Systems beschrieben.

Hierbei seien die Selbstinduktivität der  $I_{g,f}$ -ten Ader zu  $L(I_{g,f})$  und die Gegeninduktivität zwischen den  $I_{g,f}$ -ten und  $J_{g,f}$ -ten Adern zu  $M(I_{g,f}, J_{g,f})$  vorausgesetzt.

Erste Methode zur Bestimmung der Windungsart:

15

Nach dieser Methode wird die Art der Zuordnung oder Zuweisung von Reihenwindungen für jede Ader in der Weise geändert, daß Änderungen oder Abweichungen der Selbstinduktivität jeder Ader minimiert werden. Unter Voraussetzung des Mittelwerts der Selbstinduktivitäten der Adern jeder Ader zu LAVE bestimmt sich dieser Mittelwert zu

20

$$LAVE = \left\{ \sum_{I_{g,f}=1}^{N_{g,f}} L(I_{g,f}) \right\} / N_{g,f} \quad (11)$$

Sodann wird das Zuordnungs- oder Zuweisungssystem so bestimmt, daß die durch nachstehende Gleichung ausgedrückten Änderungen LSTD der Selbstinduktivität jeder Ader minimiert werden:

25

$$LSTD = \left\{ \sum_{I_{g,f}=1}^{N_{g,f}} \{L(I_{g,f}) - LAVE\}^2 / N_{g,f} \right\} \quad (12)$$

30

Zweite Methode zur Bestimmung der Windungsart:

Nach dieser Methode wird die Art der Zuweisung von Reihenwindungen für jede Ader so bestimmt, daß diese von der mit jeder Ader verbundenen Gradientenspulen-Stromversorgung "gesehenen" Änderungen der effektiven Induktivität minimiert werden. Dies bedeutet, daß die effektive Induktivität  $\bar{L}(I_{g,f})$ , die von der mit der  $I_{g,f}$ -ten Ader verbundenen Gradientenspulen-Anregungsstromquelle "gesehen" wird, und deren Mittelwert  $\bar{L}AVE$  wie folgt eingestellt werden:

35

$$\bar{L}(I_{g,f}) = L(I_{g,f}) + \sum_{J_{g,f} \propto I_{g,f}}^{N_{g,f}} M(I_{g,f}, J_{g,f}) \quad (13)$$

40

$$\bar{L}AVE = \left\{ \sum_{I_{g,f}=1}^{N_{g,f}} \bar{L}(I_{g,f}) \right\} / N_{g,f} \quad (14)$$

45

Wenn der Ausdruck " $\sim$ " nahezu Gleichheit angibt, wird das Zuweisungssystem so bestimmt, daß die durch nachstehende Gleichung gegebene Standardabweichung  $\bar{L}STD$  der effektiven Induktivität der Gradientenspulen-Stromversorgung jeder Ader minimiert wird:

50

$$\bar{L}STD = \left\{ \sum_{I_{g,f}=1}^{N_{g,f}} \{\bar{L}(I_{g,f}) - \bar{L}AVE\}^2 / N_{g,f} \right\} \quad (15)$$

55

Die Art des Ausgleichens der Widerstände (Widerstandswerte) kann ebenfalls auf genau die gleiche Weise, wie oben beschrieben, bestimmt werden.

Die beiden oben beschriebenen Methoden sind sowohl auf die Gradientenspulen als auch auf die Aktivabschirmspulen anwendbar, welche die aktiv abgeschirmten Gradientenspulen bzw. ASGCs in der Achsrichtung und in einer Richtung orthogonal zur Achse bilden.

60

Im folgenden ist anhand von **Fig. 10** ein drittes Ausführungsbeispiel der mehradrigen aktiv abgeschirmten Gradientenspule beschrieben. Genauer gesagt: die Beispiele gemäß den **Fig. 8** und **9** veranschaulichen den Fall, in welchem die Gesamtzahl von Windungen (turns) und ein ganzzahliges vielfaches der Zahl der G-Stromversorgungen, welche die Gradientfeld-Stromversorgungsgruppe **4** bilden, einander gleich sind. Bei der Verbindungs- oder Anschlußmethode im vorliegenden Fall erfolgt die Verbindung eines Spulenleiters und einer Stromversorgung in einem von Spulenabschnitten **3A1** und/oder **14A1**, **3A2/14A2**, **3B1** und/oder **14B1** und **3B2/14B2**. Beispielsweise sei der Fall betrachtet, in welchem die Gesamtzahl der Windungen **8** beträgt und vier G-Strom-

65



versorgungen vorgesehen sind. Das bedeutet, daß im Fall eines Spulenabschnitts die Verbindungen oder Anschlüsse so hergestellt werden können, daß seine Windung T1 mit einer ersten G-Stromversorgung, seine Windung T2 mit einer zweiten G-Stromversorgung, seine Windung T3 mit einer dritten G-Stromversorgung, seine Windung T4 mit einer vierten G-Stromversorgung, seine Windung T5 mit der vierten Stromversorgung, seine Windung T6 mit der dritten G-Stromversorgung, seine Windung T7 mit der zweiten G-Stromversorgung und seine Windung T8 mit der ersten G-Stromversorgung verbunden sind. Auf diese Weise wird eine Ansteuerung zur Stabilisierung der Magnetfelder realisiert.

Falls jedoch die Gesamtzahl der Windungen und ein ganzzahliges Vielfaches der Zahl der G-Stromversorgungen nicht einander gleich sind, beispielsweise vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 vorgesehen sind, während die Gesamtzahl der Windungen 9, 10 oder 11 beträgt und damit nicht einem Mehrfachen von 4 entspricht, können diese Windungen oder Anschlüsse, wie sie oben beschrieben sind, nicht hergestellt werden. Im folgenden sind verschiedene Methoden zur Berücksichtigung eines solchen Falls beschrieben. Anhand der Fig. 10 und 11 ist eine Methode zur Verbindung von vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 mit einer Gx-Spule oder Gy-Spule mit neun Windungen erläutert. Weiterhin ist anhand der Fig. 12 und 13 eine Methode zum Anschließen der vier G-Stromversorgungen an eine Gx-Spule oder Gy-Spule mit zehn Windungen beschrieben. Weiterhin ist anhand der Fig. 14 und 15 eine Methode zum Anschließen von vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 an eine Gx- oder Gy-Spule mit elf Windungen beschrieben.

Die in den Fig. 10 und 11 dargestellte Methode ist auf den Fall angewandt, daß die Zahl E der G-Stromversorgungen und die Zahl T der Windungen in jedem Spulenabschnitt nach  $T = E \times n + 1$  (mit  $n =$  eine natürliche Zahl) aufeinander bezogen sind. Da nämlich vier G-Stromversorgungen vorgesehen sind und die Gesamtzahl der Windungen neun beträgt, können bis zu acht Windungen mit den vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 mit zwei Windungen für jede verbunden werden. Die eine verbleibende Windung jedes Spulenabschnitts 3A1 und/oder 14A1, 3A2 und/oder 14A2, 3B1 und/oder 14B1, 3B1 und/oder 14B2 wird auf die in den Fig. 10 und 11 gezeigte Weise mit einer der vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 verbunden. Fig. 10 veranschaulicht nur die eine verbleibende Windung jedes der Spulenabschnitte 3A1 und/oder 14A1, 3A2 und/oder 14A2, 3B1 und/oder 14B1 sowie 3B2 und/oder 14B2. Dies bedeutet, daß die Windung T9 des ersten Spulenabschnitts 3A1 mit der ersten G-Stromversorgung 4-1, die Windung T9 des ersten Spulenabschnitts 3A2 mit der zweiten G-Stromversorgung 4-2, die Windung T9 des zweiten Spulenabschnitts 3B1 mit der dritten G-Stromversorgung 4-3 und die Windung T9 des zweiten Spulenabschnitts 3A2 mit der vierten G-Stromversorgung 4-4 verbunden sind oder werden. Auf diese Weise kann eine Ansteuerung zur Stabilisierung der Magnetfelder erreicht werden.

Die in den Fig. 12 und 13 dargestellte Methode ist oder wird auf den Fall angewandt, daß die Zahl E der G-Stromversorgungen und die Gesamtzahl T der Windungen in jedem Spulenabschnitt nach  $T = E \times n + 2$  (mit  $n =$  eine natürliche Zahl) aufeinander bezogen sind. Da hierbei vier G-Stromversorgungen vorgesehen sind und die Gesamtzahl der Windungen 10 beträgt, können bis zu acht Windungen mit den vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 mit jeweils zwei Windungen verbunden werden. Die restlichen zwei Windungen jedes der Spulenabschnitte 3A1 und/oder 14A1, 3A2 und/oder 14A2, 3B1 und/oder 14B1, 3B1 und/oder 14B2 sind oder werden auf die in den Fig. 12 und 13 gezeigte Weise mit den vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 verbunden.

Fig. 12 veranschaulicht nur die verbleibenden zwei Windungen jedes der Spulenabschnitte 3A1 und/oder 14A1, 3A2 und/oder 14A2, 3B1 und/oder 14B1 sowie 3B2 und/oder 14B2. Dies bedeutet, daß die Windung T9 und die Windung T10 des ersten Spulenabschnitts 3A1 mit erster bzw. zweiter G-Stromversorgung 4-1 bzw. 4-2 verbunden sind, während die Windung T9 und die Windung T10 des ersten Spulenabschnitts 3A2 an die dritte bzw. vierte G-Stromversorgung 4-3 bzw. 4-4 angeschlossen sind. Weiterhin sind die Windung T9 und die Windung T10 des zweiten Spulenabschnitts 3B1 mit zweiter bzw. erster G-Stromversorgung 4-2 bzw. 4-1 verbunden, während die Windung T9 und die Windung T10 des zweiten Spulenabschnitts 3B2 mit vierter bzw. dritter G-Stromversorgung 4-4 bzw. 4-3 verbunden sind. Auf diese Weise kann eine Ansteuerung zur Stabilisierung der Magnetfelder erreicht werden.

Die in den Fig. 14 und 15 dargestellte Methode ist auf den Fall angewandt, in welchem die Zahl E der G-Stromversorgungen und die Gesamtzahl T der Windungen in jedem Spulenabschnitt nach  $T = E \times n + 3$  (mit  $n =$  eine natürliche Zahl) aufeinander bezogen sind. Da hierbei vier G-Stromversorgungen vorgesehen sind und die Gesamtzahl der Windungen 11 beträgt, können bis zu acht Windungen mit den vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 mit jeweils zwei Windungen verbunden werden. Die verbleibenden drei Windungen jedes der Spulenabschnitte 3A1 und/oder 14A1, 3A2 und/oder 14A2, 3B1 und/oder 14B1, 3B2 und/oder 14B2 in der Gx- oder Gy-Spule sind oder werden auf die in Fig. 15 und 16 gezeigte Weise mit den vier G-Stromversorgungen 4-1, 4-2, 4-3 und 4-4 verbunden. Fig. 14 veranschaulicht lediglich die verbleibenden drei Windungen jedes Spulenabschnitts 3A1 und/oder 14A1, 3A2 und/oder 14A2, 3B1 und/oder 14B1 sowie 3B2 und/oder 14B2. Dies bedeutet, daß die Windungen T9, T10 und T11 des ersten Spulenabschnitts 3A1 mit erster, zweiter bzw. dritter G-Stromversorgung 4-1, 4-2 bzw. 4-3 verbunden sind oder werden, während die Windungen T9, T10 und T11 des ersten Spulenabschnitts 3A2 an zweite, dritte bzw. vierte G-Stromversorgung 4-2, 4-3 bzw. 4-4 angeschlossen sind. Weiterhin werden die Windungen T9, T10 und T11 des zweiten Spulenabschnitts 3B1 mit dritter, vierter bzw. erster G-Stromversorgung 4-3, 4-4 bzw. 4-1 verbunden, während die Windungen T9, T10 und T11 des zweiten Spulenabschnitts 3B2 mit vierter, erster bzw. zweiter G-Stromversorgung 4-4, 4-1 bzw. 4-2 verbunden werden oder sind. Auf diese Weise kann eine Ansteuerung zur Stabilisierung der Magnetfelder realisiert werden.

Die beschriebenen Ausführungsbeispiele offenbaren eine Konfiguration bzw. Ausgestaltung, bei welcher eine aktiv abschirmende Gradientenspule oder ASGC mit parallelen Leitern, die in Form eines Fingerabdrucks als Annäherung an die Wirbelstromverteilung geformt sind, im Statikmagnetfeld-Magneten 1 angeordnet ist.

Die Erfindung ist jedoch nicht auf eine solche Ausgestaltung beschränkt. Genauer gesagt: erfindungsgemäß kann eine Gradientenspule mit parallelen Leitern, die in der Form eines Fingerabdrucks geformt oder ausgebildet

sind, im Statikmagnetfeld-Magneten 1 vorgesehen sein. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die aktiv abschirmende Spulengruppe 14 nicht benutzt. Dabei sind gemäß Fig. 16 der Statikmagnetfeld-Magnet 1, die Gradientenspulengruppe 3, die Sonde 6 und das Untersuchungs-Objekt 5 so angeordnet, daß die Gradientenspulengruppe 3 mit parallelen Leitern, die zur Maximierung der räumlichen Linearität geformt oder ausgebildet sind, coaxial innerhalb des Statikmagnetfeld-Magneten 1 angeordnet ist. Die Sonde ist innerhalb der Gradientenspulengruppe 3 angeordnet. Das Untersuchungs-Objekt 5 ist dabei in die Sonde 6 eingeführt. 5

Mit einer solchen Ausgestaltung wird effektiv die Induktivität der Gradientenspulengruppe 3 verringert, so daß das Umschalten der für die mit sehr hoher Geschwindigkeit erfolgende Abbildung wesentlichen starken Gradientenmagnetfelder ohne Beeinträchtigung durch das Zeitverhalten und die räumlichen nichtlinearen Charakteristika der Wirbelstrommagnetfelder durchführbar ist. 10

Gemäß der beschriebenen Erfindung können durch Ausbildung der Gradientenspulen aus parallelen Leitern oder Ausbildung der Gradientenspulen oder der Aktivabschirmerspulen, welche die aktiv abschirmenden Gradientenspulen bilden, aus parallelen Leitern und durch Ansteuerung (oder Speisung) dieser Spulen mit mehr als einer Gradientenspulen-Stromversorgung die Induktivitäten dieser Spulen effektiv verringert werden. Infolgedessen können für Ultrahochgeschwindigkeit-Abbildung wesentliche starke Gradientenmagnetfelder umgeschaltet werden, ohne daß sie durch das Zeitverhalten und die räumliche nichtlineare Charakteristik der Wirbelstrommagnetfelder beeinflusst oder beeinträchtigt werden. 15

#### Patentsprüche

1. Magnetresonanz-Abbildungsgerät, umfassend: 20
  - Statikmagnetfelderzeugungseinheiten (1, 2) zur Bildung eines starken statischen Magnetfelds,
  - Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinheiten (6, 7) zum Erzeugen eines Hochfrequenzmagnetfelds, mit dem ein im statischen Magnetfeld angeordnetes Untersuchungs-Objekt zu beaufschlagen ist,
  - eine Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) zum Erzeugen von Gradientenmagnetfeldern, mit denen das im statischen Magnetfeld angeordnete Untersuchungs-Objekt zu beaufschlagen ist und deren Stärken in 25
  - Richtungen parallel und orthogonal zum statischen Magnetfeld variieren,
  - eine Signaldetektoreinrichtung (6, 8) zum Detektieren oder Erfassen von Magnetresonanzsignalen vom Untersuchungs-Objekt,
  - eine Magnetfeldabschirmeinheit (14) zum Abschirmen von aus der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) (nach außen) austretenden Magnetfeldern,
  - eine Stromversorgungseinheit (4) zum Speisen von parallelen Leitern (oder Adern) der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und der Magnetfeldabschirmeinheit (14) mit Strömen parallel zueinander,
  - eine Steuereinrichtung (9, 12) zum Steuern der Statikmagnetfelderzeugungseinheiten (1, 2), der Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinheiten (6, 7), der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3), der Signaldetektoreinrichtung (6, 8), der Magnetfeldabschirmeinheit (14) und der Stromversorgungseinheit (4) sowie, 35
  - Verarbeitungseinheiten (10, 11) zum Verarbeiten der durch die Signaldetektoreinrichtung (6, 8) erfaßten Magnetresonanzsignale, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) Spulen, die jeweils aus parallelen Leitern zusammengesetzt sind, aufweist und die Magnetfeldabschirmeinheit (14) jeweils aus parallelen Leitern zusammengesetzte Spulen aufweist.
2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die parallelen Leiter der Magnetfeldabschirmeinheit (14) in Positionen und einer Form geformt oder angeordnet sind, welche einer Verteilung von Wirbelströmen auf einem zylindrischen Leiter angenähert sind, wenn dieser als in der Position der Magnetfeldabschirmeinheit (14) angeordnet gedacht wird oder imaginär in dieser Position angeordnet ist. 40
3. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die parallelen Leiter der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und der Magnetfeldabschirmeinheit (14) in Positionen und einer Form geformt oder angeordnet sind, welche einer Verteilung von Wirbelströmen auf einem zylindrischen Leiter angenähert sind, wenn dieser als in der Position der Magnetfeldabschirmeinheit (14) angeordnet gedacht wird oder imaginär in dieser Position angeordnet ist. 45
4. Gerät nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldabschirmeinheit (14) angeordnet ist zur Gewährleistung von Gegenmaßnahmen gegen eine in der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) vorgesehene Gradientenmagnetfelderzeugungsspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert. 50
5. Gerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) eine Gradientenmagnetfeldspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert, ist. 55
6. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (9, 12) und die Verarbeitungseinheiten (10, 11) einen Arbeitsfolgeregler oder Programmgeber (sequencer) zur Lieferung einer Impulsfolge für Abbildung mit sehr hoher Geschwindigkeit aufweisen.
7. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgungseinheit (4) eine Anzahl von Stromversorgungen zum Speisen der aus den parallelen Leitern zusammengesetzten Spulen der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) mit Strom umfassen. 60
8. Gerät nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldabschirmeinheit (14) angeordnet ist zur Gewährleistung von Gegenmaßnahmen gegen eine in der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) vorgesehene Gradientenmagnetfeldspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert, und eine Anzahl von Spulenabschnitten in 65
- der Richtung parallel zum statischen Magnetfeld umfaßt.
9. Gerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) eine Gradientenmagnetfeldspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung ortho-

gonal zum statischen Magnetfeld variiert, aufweist und die Gradientenspule eine Anzahl von Spulenabschnitten in der Richtung parallel zum statischen Magnetfeld umfaßt.

10. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgungseinheit (4) eine Anzahl von Stromversorgungen zum Speisen von aus parallelen Leitern zusammengesetzten Spulen der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) mit Strom umfaßt, die Magnetfeldabschirmereinheit (14) angeordnet ist zur Gewährleistung von Gegenmaßnahmen gegen eine in der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) vorgesehene Spule zur Erzeugung eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert, und eine Anzahl von Spulenabschnitten in der Richtung parallel zum statischen Magnetfeld umfaßt, die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) eine Gradientenmagnetfelderzeugungsspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert, aufweist, die Gradientenmagnetfeldspule eine Anzahl von Spulenabschnitten in der Richtung parallel zum statischen Magnetfeld umfaßt und Windungen (turns) jedes der Spulenabschnitte der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und der Magnetfeldabschirmereinheit (14) sowie die Stromversorgungen der Stromversorgungseinheit (4) so geschaltet sind, daß die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und die Magnetfeldabschirmereinheit (14) stabil ansteuerbar oder betreibbar sind.

11. Gerät nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtzahl der Windungen jedes Spulenabschnittes der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und der Magnetfeldabschirmereinheit (14) sowie die Zahl der Stromversorgungen einander gleich sind.

12. Gerät nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtzahl der Windungen jedes Spulenabschnittes der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und der Magnetfeldabschirmereinheit (14) sowie die Zahl der Stromversorgungen einander nicht gleich sind.

13. Magnetresonanz-Abbildungsgerät, umfassend:

Statikmagnetfelderzeugungseinheiten (1, 2) zur Bildung eines starken statischen Magnetfelds,

Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinheiten (6, 7) zum Erzeugen eines Hochfrequenzmagnetfelds, mit dem ein im statischen Magnetfeld angeordnetes Untersuchungs-Objekt zu beaufschlagen ist,

eine Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) zum Erzeugen von Gradientenmagnetfeldern, mit denen das im statischen Magnetfeld angeordnete Untersuchungs-Objekt zu beaufschlagen ist und deren Stärken in Richtungen parallel und orthogonal zum statischen Magnetfeld variieren,

eine Signaldetektoreinrichtung (6, 8) zum Detektieren oder Erfassen von Magnetresonanzsignalen vom Untersuchungs-Objekt,

eine Stromversorgungseinheit (4) zum parallelen Speisen von parallelen Leitern der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) mit Strömen,

eine Steuereinrichtung (9, 12) zum Steuern der Statikmagnetfelderzeugungseinheiten (1, 2), der Hochfrequenzmagnetfelderzeugungseinheiten (6, 7), der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und der Stromversorgungseinheit (4) sowie,

Verarbeitungseinheiten (10, 11) zum Verarbeiten der durch die Signaldetektoreinrichtung (6, 8) erfaßten Magnetresonanzsignale, dadurch gekennzeichnet, daß die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (14 bzw. 3) Spulen, die jeweils aus parallelen Leitern zusammengesetzt sind, umfaßt und die parallelen Leiter in Positionen und einer Form geformt oder angeordnet sind, welche einer Verteilung von Wirbelströmen auf einem zylindrischen Leiter angenähert sind, wenn dieser als in einer vorbestimmten Position angeordnet gedacht wird oder imaginär in dieser vorbestimmten Position angeordnet ist.

14. Gerät nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) eine Gradientenmagnetfeldspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert, umfaßt.

15. Gerät nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (9, 12) und die Verarbeitungseinheiten (10, 11) einen Arbeitsfolgeregler oder Programmgeber (sequencer) zur Lieferung einer Impulsfolge für Abbildung mit sehr hoher Geschwindigkeit aufweisen.

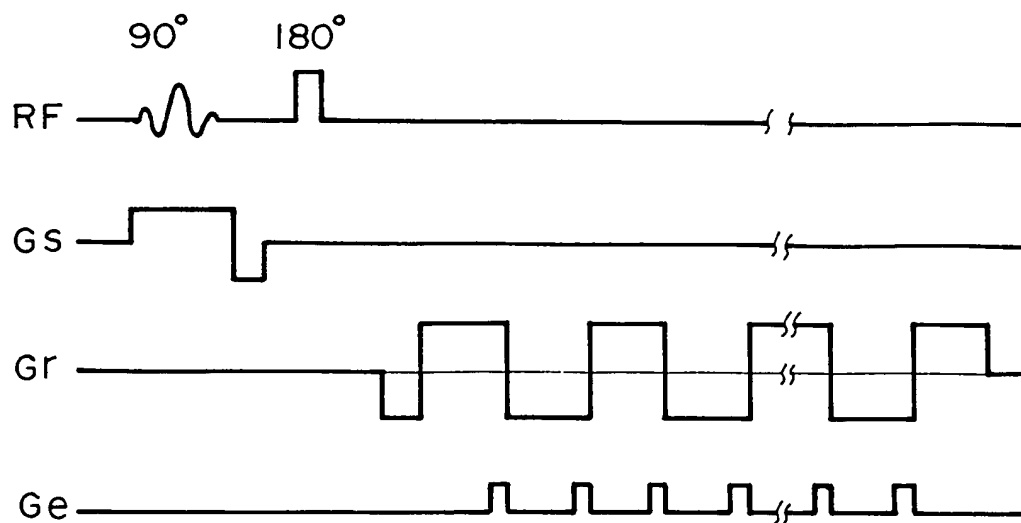
16. Gerät nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgungseinheit (4) eine Anzahl von Stromversorgungen zum Speisen von aus parallelen Leitern zusammengesetzten Spulen der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) mit Strömen umfaßt.

17. Gerät nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgungseinheit (4) eine Anzahl von Stromversorgungen zum Speisen der aus parallelen Leitern zusammengesetzten Spulen der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) mit Strömen umfaßt, die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) eine Gradientenmagnetfeldspule zum Erzeugen eines Gradientenmagnetfelds, dessen Stärke in einer Richtung orthogonal zum statischen Magnetfeld variiert, aufweist, die Gradientenmagnetfeldspule eine Anzahl von Spulenabschnitten in der Richtung parallel zum statischen Magnetfeld aufweist und Windungen jedes der Spulenabschnitte der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) sowie die Stromversorgungen der Stromversorgungseinheit (4) so geschaltet sind, daß die Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) stabil ansteuerbar oder betreibbar ist.

18. Gerät nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtzahl der Windungen jedes Spulenabschnittes der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und die Zahl der Stromversorgungen einander gleich sind.

19. Gerät nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtzahl der Windungen jedes Spulenabschnittes der Gradientenmagnetfelderzeugungseinheit (3) und die Zahl der Stromversorgungen einander nicht gleich sind.

— Leerseite —



(Stand der Technik)

FIG. 1

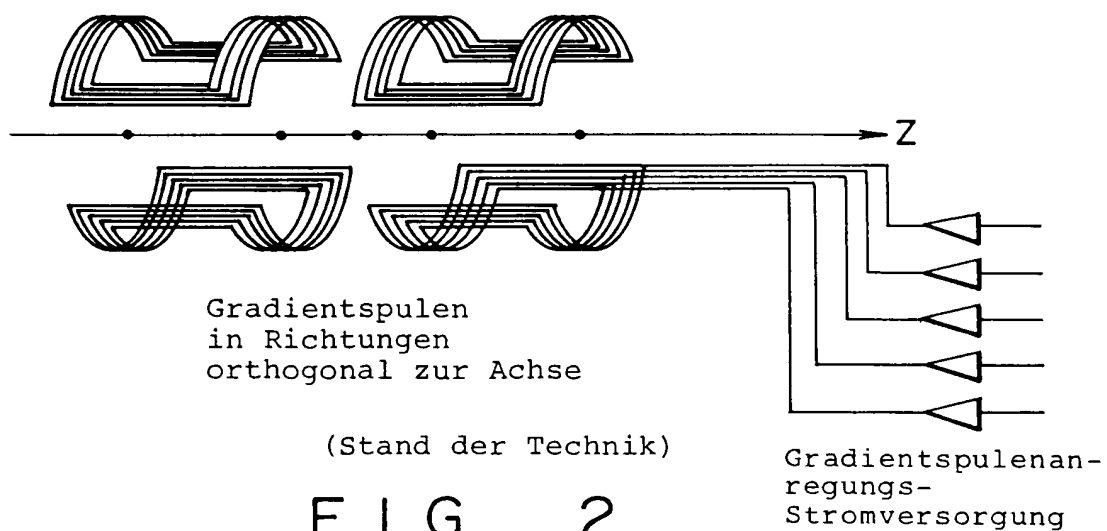
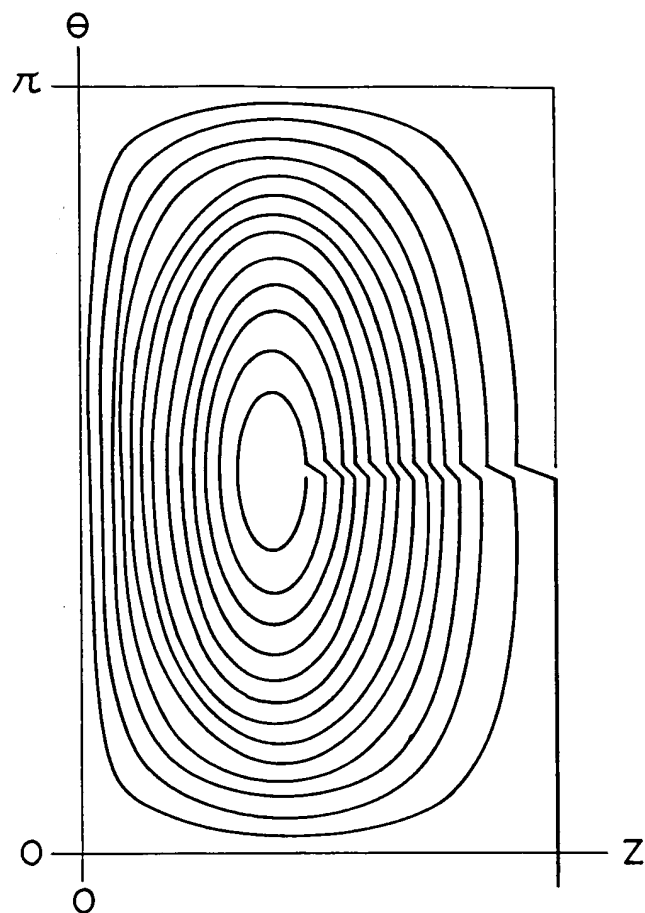


FIG. 2



(Stand der Technik)

FIG. 3

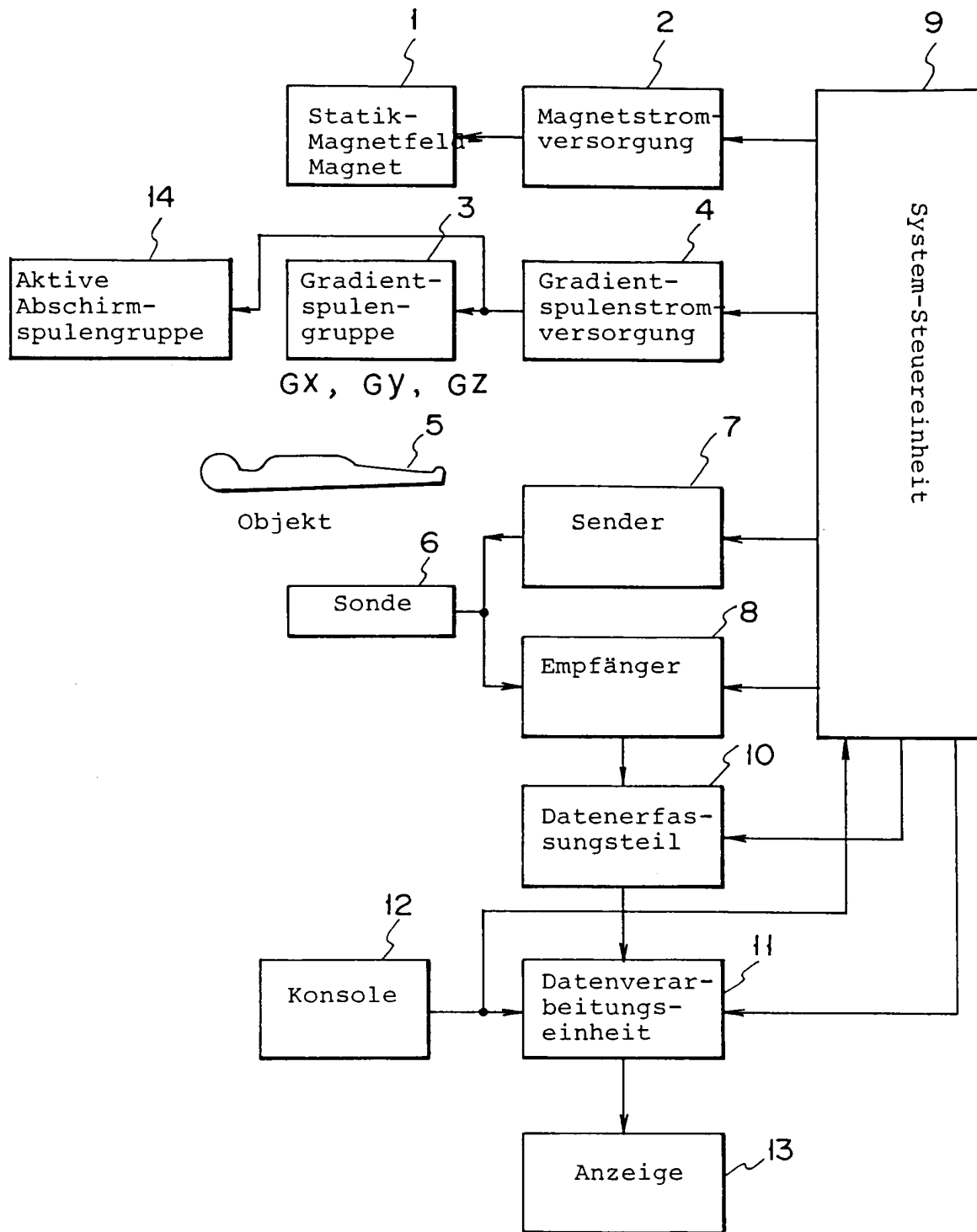


FIG. 4

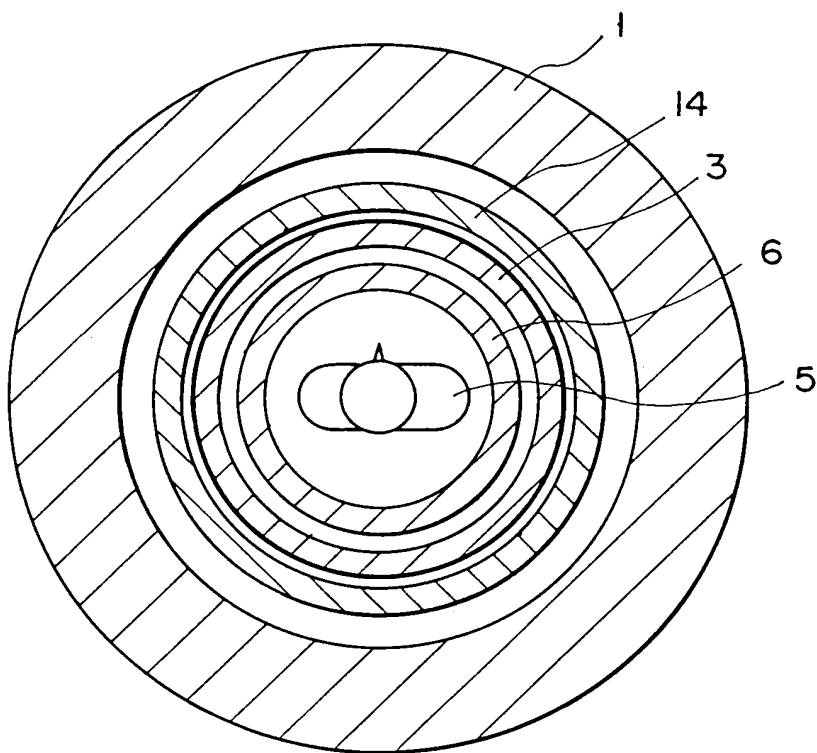


FIG. 5



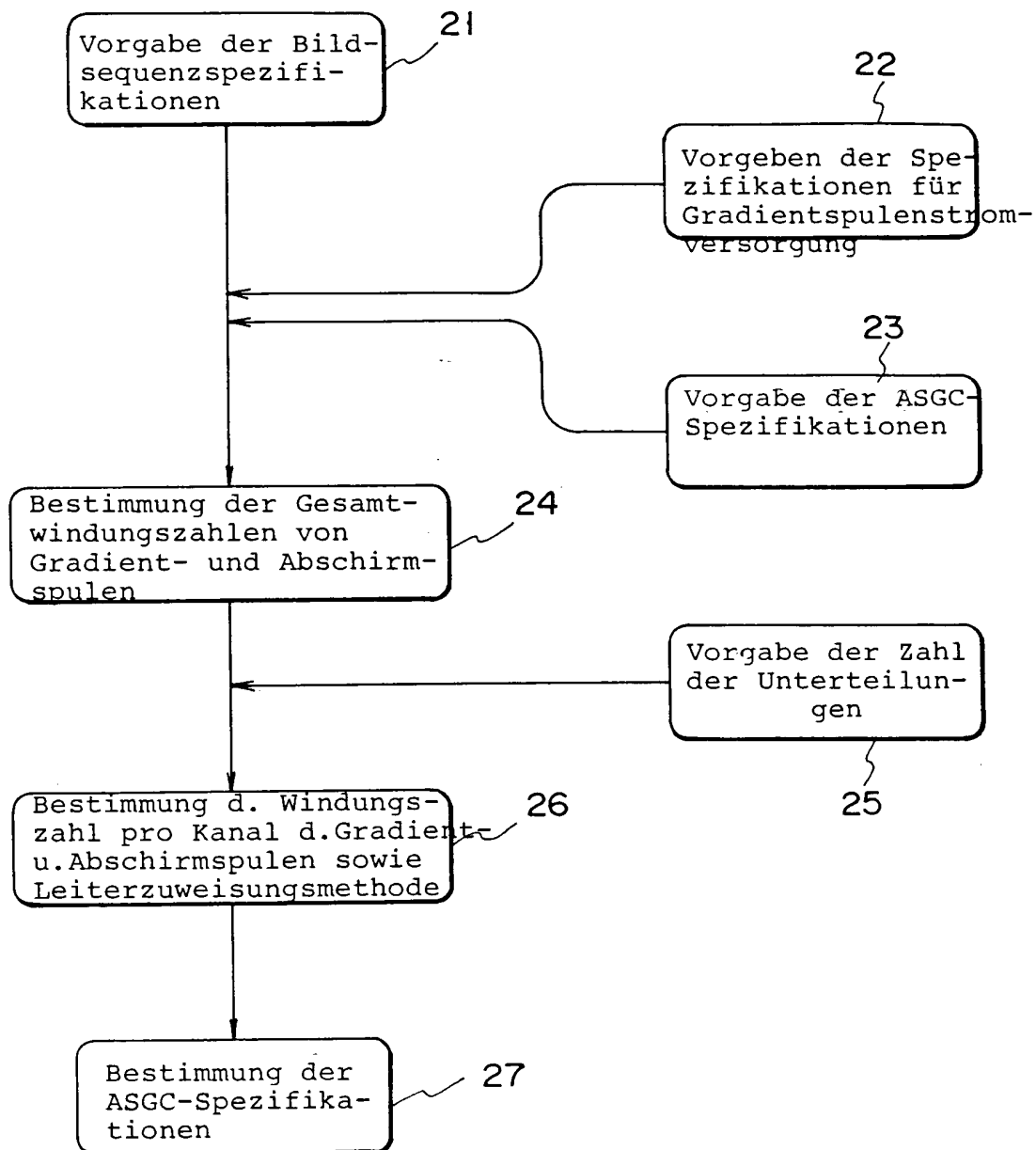


FIG. 6

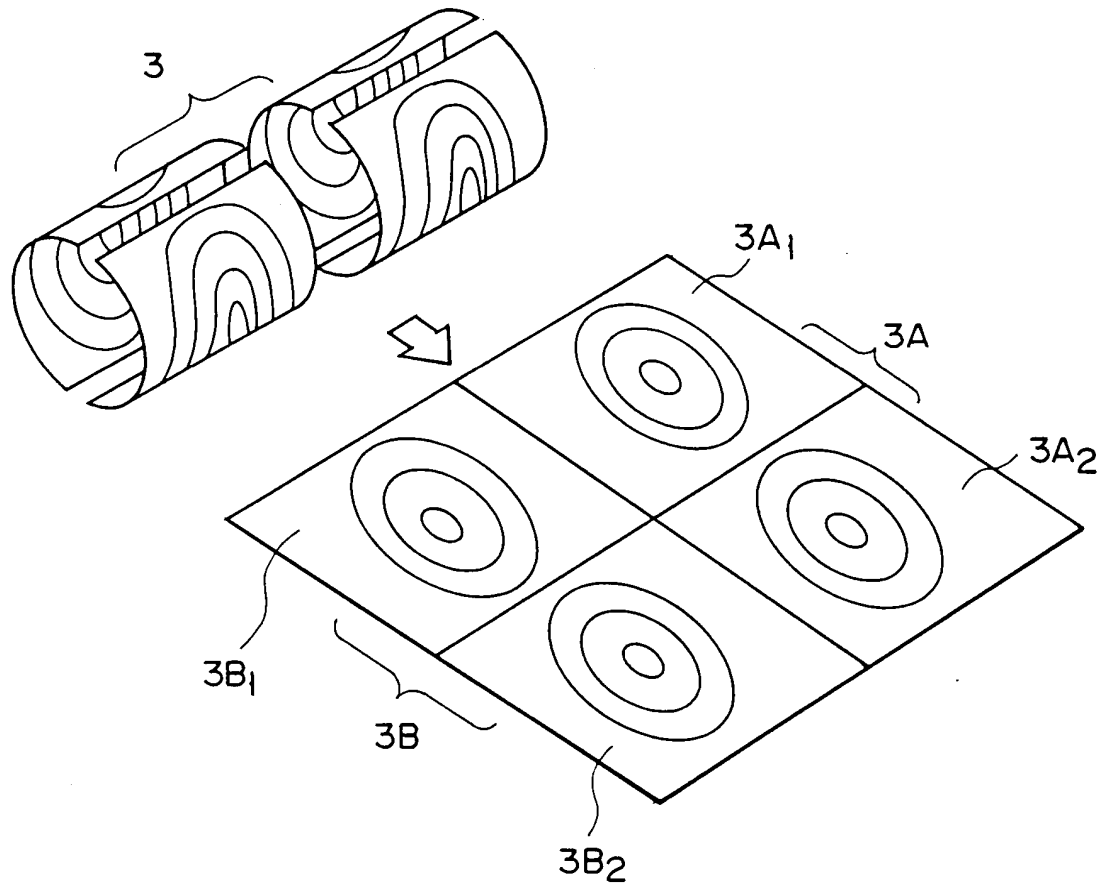
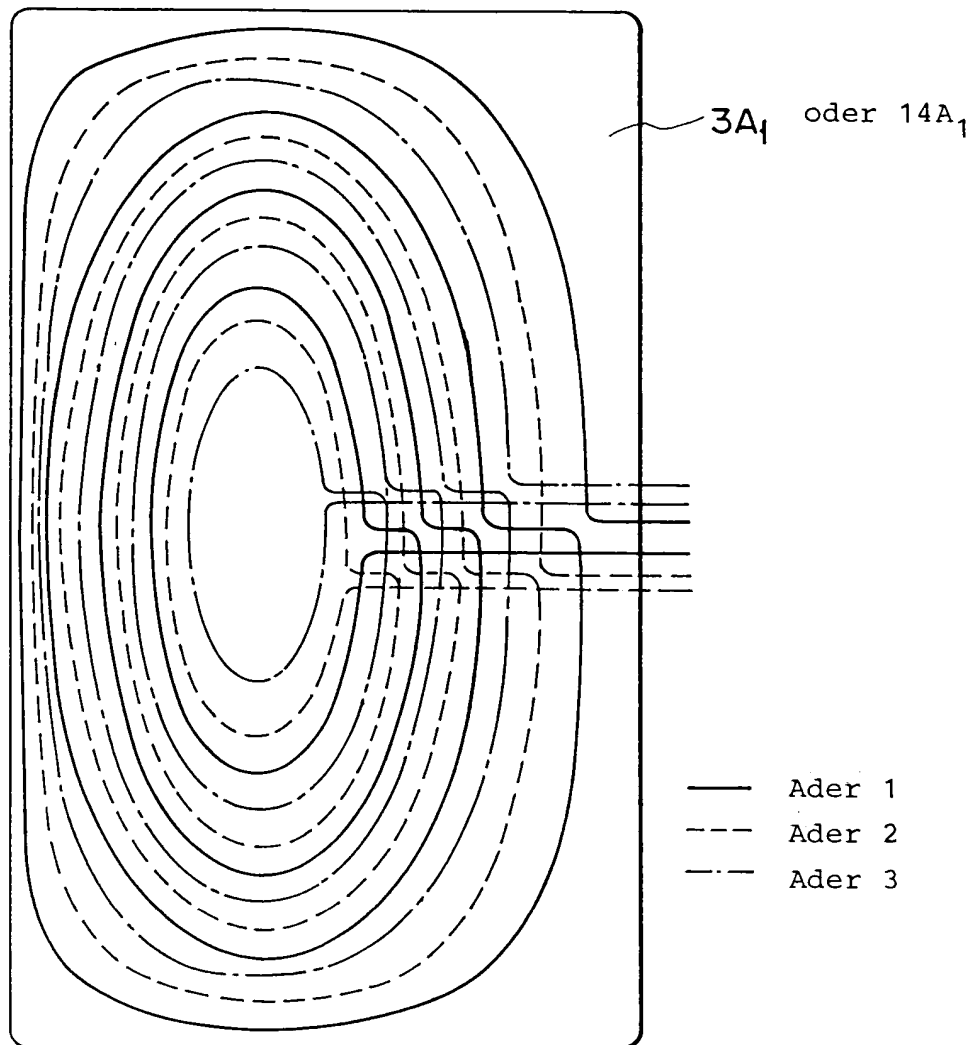


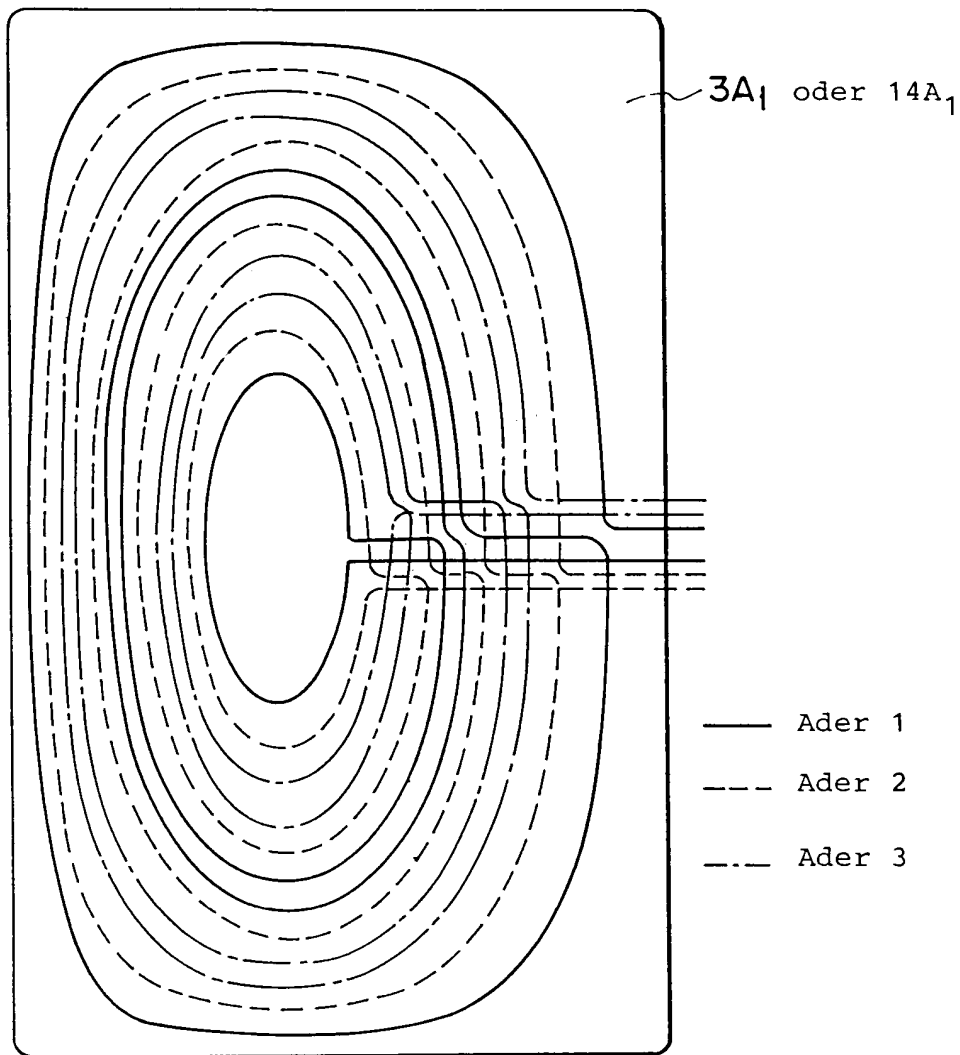
FIG. 7

Spule Gx oder Gy



F I G. 8

Spule Gx oder Gy



F I G. 9

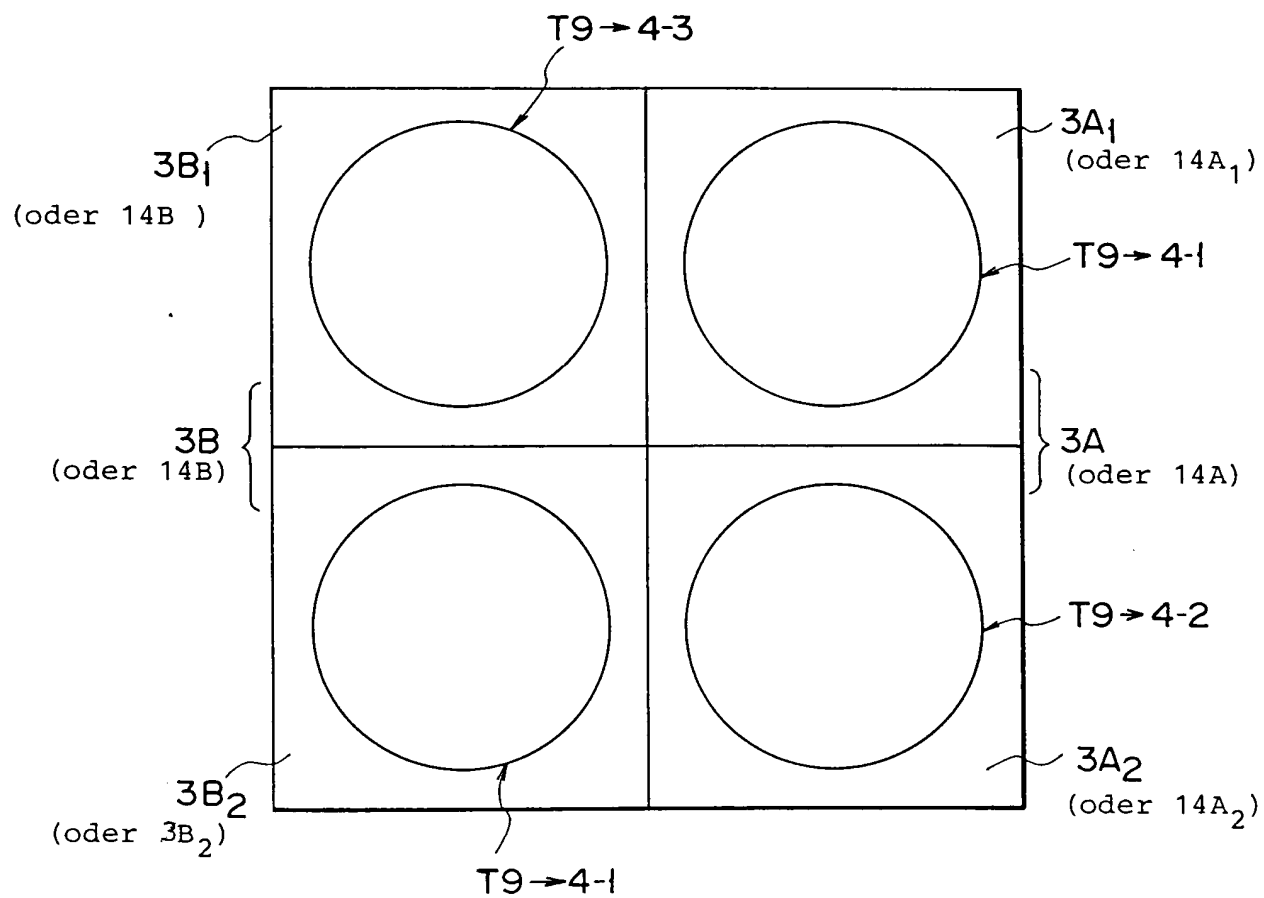


FIG. 10

Gesamtzahl der  
Windungen: 9

Zahl der Kanäle: 4      Zahl der Mehradern      Spule Gx oder Gy

Windung Nr.	Kanal			
	A <sub>1</sub> (3A <sub>1</sub> , 14A <sub>1</sub> )	A <sub>2</sub> (3A <sub>2</sub> , 14A <sub>2</sub> )	B <sub>1</sub> (3B <sub>1</sub> , 14B <sub>1</sub> )	B <sub>2</sub> (3B <sub>2</sub> , 14B <sub>2</sub> )
T 1	4-1	4-1	4-1	4-1
T 2	4-2	4-2	4-2	4-2
T 3	4-3	4-3	4-3	4-3
T 4	4-4	4-4	4-4	4-4
T 5	4-4	4-4	4-4	4-4
T 6	4-3	4-3	4-3	4-3
T 7	4-2	4-2	4-2	4-2
T 8	4-1	4-1	4-1	4-1
T 9	4-1	4-2	4-3	4-4

4-1: 1.G-Stromversorgung  
4-2: 2.G-Stromversorgung  
4-3: 3.G-Stromversorgung  
4-4: 4.G-Stromversorgung

FIG. 11

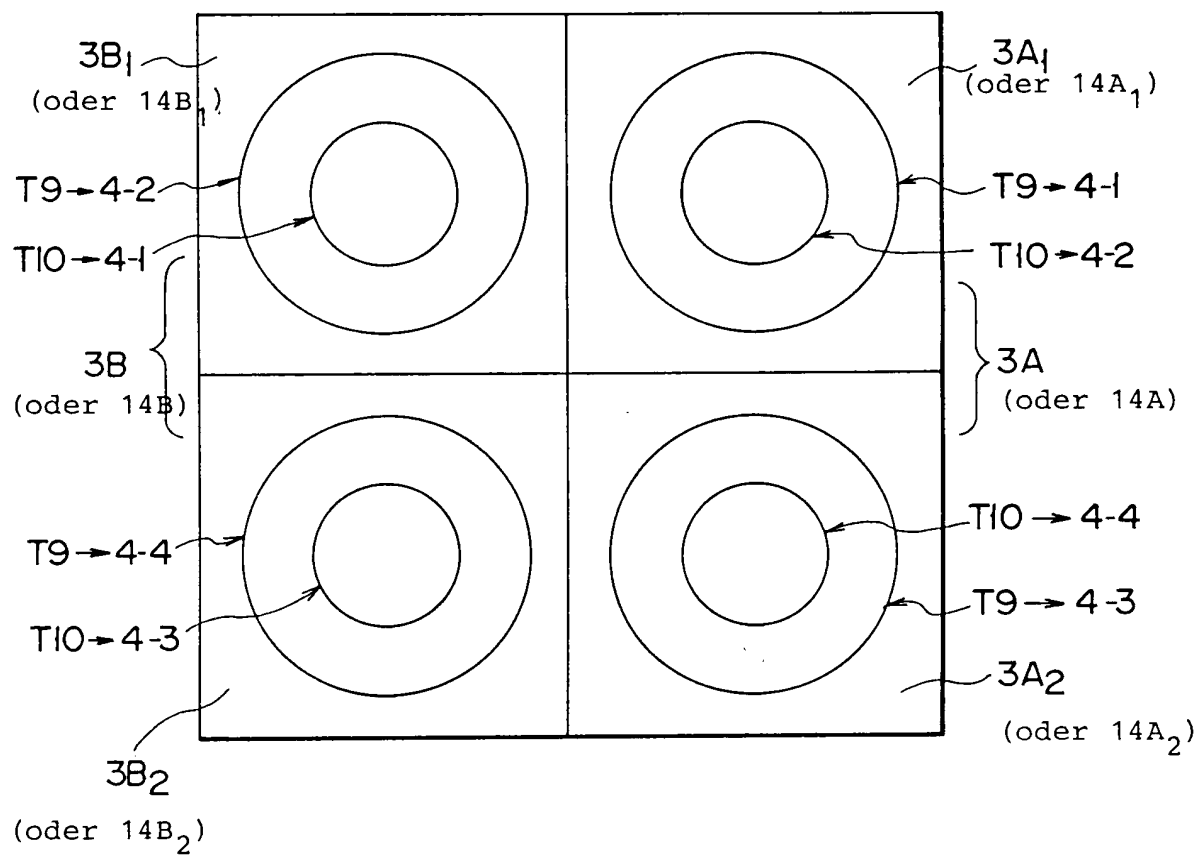


FIG. 12

Gesamtzahl der  
Windungen: 10

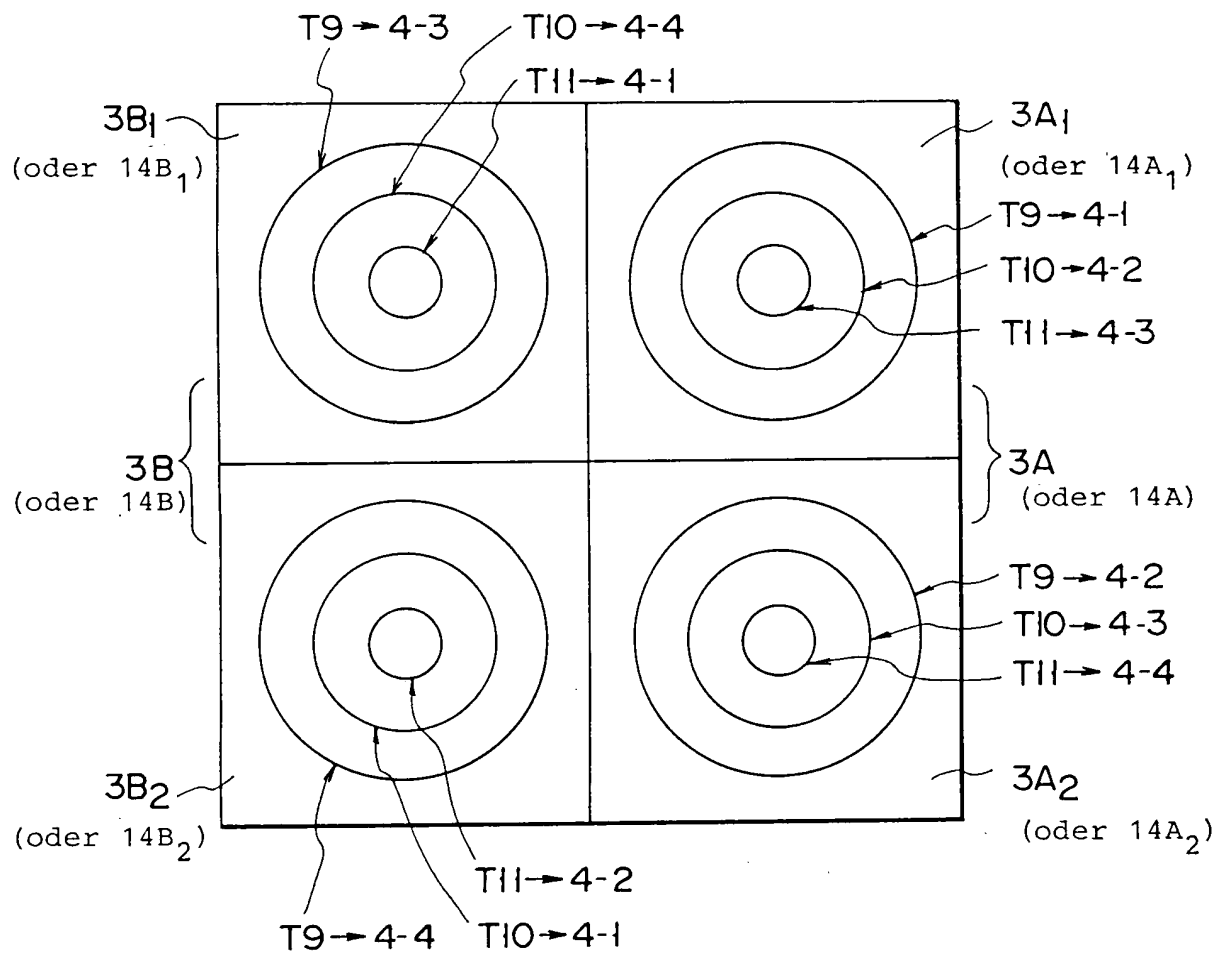
Zahl der Kanäle: 4      Zahl der Mehradern      Spule Gx oder Gy

Kanal Windung Nr.	A <sub>1</sub> (3A <sub>1</sub> , 14A <sub>1</sub> )	A <sub>2</sub> (3A <sub>2</sub> , 14A <sub>2</sub> )	B <sub>1</sub> (3B <sub>1</sub> , 14B <sub>1</sub> )	B <sub>2</sub> (3B <sub>2</sub> , 14B <sub>2</sub> )
T 1	4 - 1	4 - 1	4 - 1	4 - 1
T 2	4 - 2	4 - 2	4 - 2	4 - 2
T 3	4 - 3	4 - 3	4 - 3	4 - 3
T 4	4 - 4	4 - 4	4 - 4	4 - 4
T 5	4 - 4	4 - 4	4 - 4	4 - 4
T 6	4 - 3	4 - 3	4 - 3	4 - 3
T 7	4 - 2	4 - 2	4 - 2	4 - 2
T 8	4 - 1	4 - 1	4 - 1	4 - 1
T 9	4 - 1	4 - 3	4 - 2	4 - 4
T 10	4 - 2	4 - 4	4 - 1	4 - 3

4-1: 1.G-Stromversorgung  
4-2: 2.G-Stromversorgung  
4-3: 3.G-Stromversorgung  
4-4: 4.G-Stromversorgung

FIG. 13





Gesamtzahl der  
Windungen: 11

Zahl der Kanäle: 4

Zahl der Mehradern

Spule Gx oder Gy

<div>Kanal Windung Nr.</div>	A <sub>1</sub> (3A <sub>1</sub> ,14A <sub>1</sub> )	A <sub>2</sub> (3A <sub>2</sub> ,14A <sub>2</sub> )	B <sub>1</sub> (3B <sub>1</sub> ,14B <sub>1</sub> )	B <sub>2</sub> (3B <sub>2</sub> ,14B <sub>2</sub> )
T 1	4-1	4-1	4-1	4-1
T 2	4-2	4-2	4-2	4-2
T 3	4-3	4-3	4-3	4-3
T 4	4-4	4-4	4-4	4-4
T 5	4-4	4-4	4-4	4-4
T 6	4-3	4-3	4-3	4-3
T 7	4-2	4-2	4-2	4-2
T 8	4-1	4-1	4-1	4-1
T 9	4-1	4-2	4-3	4-4
T 10	4-2	4-3	4-4	4-1
T 11	4-3	4-4	4-1	4-2

4-1: 1.G-Stromversorgung  
4-2: 2.G-Stromversorgung  
4-3: 3.G-Stromversorgung  
4-4: 4.G-Stromversorgung

FIG. 15

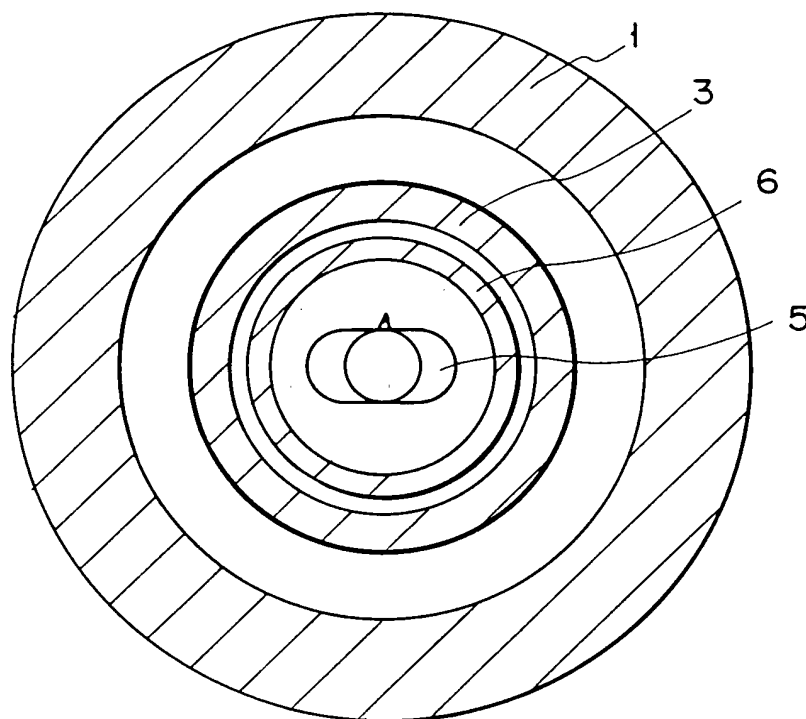


FIG. 16